

---

*Пристрої та системи радіозв'язку, радіолокації, радіонавігації*

---

**ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ,  
РАДІОЛОКАЦІЇ, РАДІОНАВІГАЦІЇ**

УДК 681.51

**РЕДУКЦІЯ МОДЕЛІ СИСТЕМОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ****Бичковський В.О.,<sup>1</sup> к.т.н., доцент****Ханчопуло О.В.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна,<sup>2</sup> Університет "Крок", м. Київ, Україна**Вступ. Постановка задачі**

Одним із ефективних методів досліджень системотехнічних комплексів (СТК) є їх моделювання. На макроскопічному рівні в моделі СТК ігноруються деталі структурної схеми, розглядаються тільки особливості загальної поведінки та виконується оцінка визначаючих характеристик СТК. Модель такого рівня описує перетворення випадкових міжсистемних мікровзаємодій в деякий регулярний процес. Таким чином, СТК по характеристикам та процесам редуциують до рівня багатоелементних фізичних систем [1,2]. Якщо в СТК відбувається видобування, передача, прийом та обробка інформації, то необхідно розглядати адекватну модель, яка враховує саме інформаційні процеси або інформаційні характеристики СТК та його окремих систем. Таким чином, макроскопічний опис СТК повинен базуватися на системно-інформаційній методології.

Редукція моделі СТК спрямовується на з'ясування основних закономірностей поєднання частин у ціле, аналізу взаємодії цих складових та визначення констант, які характеризують поведінку як окремих систем, так і СТК в цілому. З іншого боку, процедура редукції повинна забезпечити можливість визначення основних характеристик СТК та його систем: інформаційної спроможності  $N$ , частотно-квантової спроможності  $F$  та відносної помилки керування  $\gamma$  (для СТК інформаційно-керуючого типу). Методика визначення  $F, N, \gamma$  для найпростіших систем та пристроїв є відомою [4,5]. Представляється можливим визначення  $F, N, \gamma$  для СТК або його систем. Розв'язання цієї задачі є актуальним та має практичну спрямованість.

**Теоретичні викладки**

Кількість інформації, яка циркулює в СТК, визначається його інформаційною спроможністю. Отже, швидкість зростання кількості інформації в СТК пов'язана із швидкістю зростання інформаційної спроможності. Нехай  $I = I(t)$  – кількість інформації в СТК. Тоді  $I = \log_2 N$ , де  $N$  – інформаційна спроможність СТК. З іншого боку

$$I = \sum_{i=1}^n I_i, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість систем в СТК,  $I_i$  – кількість інформації в  $i$ -тій системі. На підставі формули (1) визначаємо

$$I = \log_2 \prod_{i=1}^n N_i, \quad (2)$$

де  $N_i$  – інформаційна спроможність.

Таким чином, інформаційна спроможність СТК визначається з умови

$$N = \prod_{i=1}^n N_i.$$

Швидкість зростання інформаційної спроможності  $i$ -тої системи залежить від інформаційної спроможності СТК в цілому:

$$\frac{dN_i}{dt} = K_i \prod_{i=1}^n N_i, \quad (3)$$

де  $K_i$  – константа швидості зростання інформаційної спроможності  $i$ -тої системи. Аналіз рівняння (3) показує, що воно є схожим до рівняння гомогенної односторонньої реакції (при цьому стехіометричний коефіцієнт є додатнім) [3]. Таким чином, виконано редукцію моделі СТК по інформаційним спроможностям системи до рівня фізико-хімічної моделі. Скористуємося отриманою моделлю для аналізу процесів в системах СТК.

Розглянемо ситуацію коли СТК складається із систем з однаковою інформаційною спроможністю. В цьому випадку на підставі рівняння (3) запишемо

$$\frac{dN_1}{dt} = K_1 N_1^n. \quad (4)$$

Нехай на початку спостережень  $N_1 = N_{10}$ . Інтегрування рівняння (4) по  $t$  від 0 до  $t$  та по  $N_1$  від  $N_{10}$  до  $N_1$  дає наступний результат:

$$K_1 = \frac{1}{t(n-1)N_{10}^{n-1}} \left[ 1 - \left( \frac{N_{10}}{N_1} \right)^{n-1} \right]. \quad (5)$$

Якщо спостереження за системою почалося в момент її включення, то  $N_{10} = 1$ . Тоді на підставі формули (5) визначаємо

$$K_1 = \frac{1}{t(n-1)} \left[ 1 - N_1^{-(n-1)} \right]. \quad (6)$$

Визначення  $K_1$  відноситься до зворотної задачі дослідження системи [3].

Розв'яжемо пряму задачу, тобто визначимо закономірність зміни інформаційної спроможності. На підставі формули (5) знаходимо

$$N_1 = \left[ N_{10}^{-(n-1)} - K_1 t(n-1) \right]^{-\frac{1}{n-1}}. \quad (7)$$

При  $N_{10}=1$  визначаємо

$$N_1 = [1 - K_1 t(n-1)]^{-\frac{1}{n-1}}. \quad (8)$$

Аналіз формули (7) показує, що модель можна використовувати при умові, коли

$$K_1 t(n-1) < N_{10}^{-(n-1)}. \quad (9)$$

Оскільки системи однотипні, то  $N = N_1^n$ . Таким чином, інформаційна спроможність СТК

$$N = \left[ N_{10}^{-(n-1)} - K_1 t(n-1) \right]^{-\frac{n}{n-1}}. \quad (10)$$

Розглянемо СТК з такими характеристиками:  $K_1=0,015624$  (1/с);  $n=17$ . Всі системи СТК включаються в роботу одночасно. Спостереження за СТК проводяться протягом часу  $t=4$ с та починається в момент його включення (тобто  $N_{10} = 1$ ). На підставі формули (8) визначаємо  $N_1=1,828588$ .

Розглянемо інформаційні характеристики СТК та його окремих систем. Частотно-квантова спроможність (ЧКС) визначається з умови  $F=1/t$  [4]. На підставі формули (7) визначаємо ЧКС кожної системи СТК

$$F_1 = \frac{K_1(n-1)(N_1 N_{10})^{n-1}}{N_1^{n-1} - N_{10}^{n-1}}. \quad (11)$$

При  $N_{10}=1$  визначаємо

$$F_1 = \frac{K_1(n-1)N_1^{n-1}}{N_1^{n-1} - 1}. \quad (12)$$

Прийmemo до уваги, що  $N = N_1^n$ ,  $N_0 = N_{10}^n$ . Тоді на підставі формули (11) запишемо

$$F_1 = \frac{K_1(n-1)N_0 N}{N N_{10} - N_0 N_1}. \quad (13)$$

При  $N_{10} = 1$  з формули (13) визначаємо

$$F_1 = \frac{K_1(n-1)N}{N - N_1}. \quad (14)$$

В СТК з великою кількістю систем  $N \gg N_1$ . Тому на підставі формули (14) можна записати

$$F_1 = K_1(n-1). \quad (15)$$

Розглянемо ЧКС комплексу в цілому. На підставі формули (10) знаходимо

$$F = \frac{K_1(n-1)N_0 N^{\frac{n-1}{n}}}{N_{10} N^{\frac{n-1}{n}} - N_0}. \quad (16)$$

При  $N_{10}=1$  на підставі формули (16) запишемо

$$F = \frac{K_1(n-1)N^{\frac{n-1}{n}}}{N^{\frac{n-1}{n}} - 1}. \quad (17)$$

Для СТК з великою кількістю систем на підставі формули (16) визначимо

$$F = \frac{K_1(n-1)N_0N}{N_{10}N - N_0}. \quad (18)$$

Якщо  $N_{10}=1$ , то ЧКС комплексу

$$F = \frac{K_1(n-1)N}{N-1}. \quad (19)$$

В СТК інформаційно-керуючого типу необхідно додатково визначити відносну помилку  $\gamma=1/2N$  [5]. Величина  $N$  знаходиться за формулою (10). Для окремої системи  $\gamma_1=1/2N_1$ , де  $N_1$  визначається з рівняння (7).

Розглянемо процедуру визначення кількості працюючих в СТК систем на підставі спостережень за системою в моменти часу  $t_1$  та  $t_2$ . Для розв'язання задачі скористуємося методом Емануеля-Кнорре [3]. Введемо умову  $N_{10}=1$  та позначення

$$z = N_1^{n-1}. \quad (20)$$

Тоді на підставі формули (6) запишемо

$$t = \frac{1}{K_1(n-1)} \left(1 - \frac{1}{z}\right). \quad (21)$$

Виберемо два моменти часу спостереження  $t_1$  та  $t_2$  таким чином, щоб  $N_{12} = N_{11}^2$ , де  $N_{12}$ - інформаційна спроможність системи при  $t=t_2$ ;  $N_{11}$ - інформаційна спроможність системи  $t=t_1$ . Це означає, що  $Z_2 = Z_1^2$ . На підставі рівняння (21) визначаємо

$$\frac{t_2}{t_1} = 1 + \frac{1}{z_1}. \quad (22)$$

Приймаючи до уваги формули (20), (22) знаходимо загальну кількість працюючих в СТК систем

$$n = \frac{\log_2\left(\frac{t_1}{t_2 - t_1}\right)}{\log_2 N_{11}} + 1. \quad (23)$$

Кількість інформації, яка поступила в окрему систему  $I_{11} = \log_2 N_{11} - \log_2 N_{10}$ . Оскільки  $N_{10}=1$ , то на підставі формули (23) можна записати

$$n = \frac{1}{I_{11}} \log_2 \left( \frac{t_1}{t_2 - t_1} \right) + 1. \quad (24)$$

Аналіз формули (23), (24) показує, що спостереження необхідно виконувати при умові  $t_2 < 2t_1$ .

### **Висновки**

Редукція моделі СТК дає можливість з'ясувати основні закономірності

поєднання частин у ціле та визначити закономірності збільшення інформаційної спроможності системи та СТК, швидкості її зростання і необхідні співвідношення між параметрами систем в СТК. Отримані результати дають можливість визначити кількість працюючих в СТК систем на підставі спостережень в певні моменти часу, оцінити можливості систем та СТК на інформаційному рівні, доповнюють існуючі підходи до макроскопічного опису системотехнічних комплексів та розкривають нові можливості методу аналогій.

#### **Література**

1. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем.-М.: Наука.-1978.-248с.
2. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения.-М.:Машиностроение.-1985.-199с.
3. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия.-М.:Высшая школа.-1988.-496с.
4. Ацюковский В.А. Построение систем связей комплексов оборудования летательных аппаратов.-М.:Сов.радио.-1974.-160с.
5. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств.-М.:Энергия.-1968.-248с.

*Бичковський В.О. Ханчопуло О.В. Редуція моделі системотехнічного комплексу. Для з'ясування основних закономірностей об'єднання частин в ціле та аналізу взаємодії цих складових в системотехнічному комплексі (СТК) запропоновано методику редуції моделі СТК. Встановлено константи швидкості зростання інформаційної спроможності та закономірність зміни інформаційної спроможності. Визначено обмеження на параметри моделі. Отримано залежності для частотно-квантової спроможності СТК та його систем. Розглянуто процедуру визначення кількості працюючих в СТК систем. Отримані результати описують перетворення випадкових межсистемних взаємодій в деякий регулярний процес.*

**Ключові слова:** системотехнічний комплекс, редуція, інформаційна спроможність.

*Бычковский В.А., Ханчопуло Е.В. Редукция модели системо-технического комплекса. Для выяснения основных закономерностей объединения частей в целое и анализа взаимодействия этих составляющих в системотехническом комплексе (СТК) предложена методика редукции СТК. Установлены константы скорости увеличения информационной способности и закономерность изменения информационной способности. Определены ограничения на параметры модели. Получены зависимости для частотно-квантовой способности СТК и его систем. Рассмотрена процедура определения количества работающих в СТК систем. Полученные результаты описывают преобразование случайных межсистемных взаимодействий в некоторый регулярный процесс.*

**Ключевые слова:** системотехнический комплекс, редукция, информационная спо-

собность.

*Bychkovsky V.A., Khanchopoulo E.V. **Reduction of systemotechnical complex model.** The reduction method for model of systemotechnical complex (STC) was suggested for basis regularities unification the part on the whole and interaction analysis these composing in STC elucidation. Constants of information ability increase and regularitys of information ability alteration were determined. The limitations on model parameters were determined. Dependences for frequency-quant ability of STC and this systems were obtain. Define procedure of STC working systems was consideration. Obtain results describe the accidental inter-system interactions thansformations in regular process.*

**Key words:** systemotechnical complex, reduction, information ability.